

Estimación de biomasa en viñedos mediante imágenes satelitales y aéreas en Mendoza, Argentina

Vila, Hernán^a; Perez Peña, Jorge^a; García, Miguel^b; Vallone, Rosana^a; Mastrantonio, Leandro^c; Olmedo, Guillermo^c; Rodríguez Plaza, Luis^c; Salcedo, Carlos^c

^a Estación Experimental Agropecuaria Mendoza INTA

San Martín 3853, 5507, Luján de Cuyo, Mendoza, ARGENTINA

teledetección@mendoza.inta.gov.ar

^b Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional

^c Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo

RESUMEN

El objetivo fue comparar imágenes satelitales (QB) y aéreas (Aer) para estimar biomasa en viñedos mediante imágenes de parral y espaldero con resolución 2,44 (QB) y 1 m² píxel⁻¹ (Aer). Se mapearon índices de vegetación (IV; NDVI y SR) y se relacionaron con peso de poda (pp). Se realizó clasificación supervisada con sectores de pp conocidos, discriminando muy alto vigor (MAV), alto vigor (AV), bajo vigor (BV) y muy bajo vigor (MBV). La correlación (r) entre IV y pp fue baja. Las r entre pp y NDVI fueron 0,61 (parral) y 0,55 (espaldero) en QB; y 0,38 y 0,42 respectivamente en Aer. Las r entre pp y SR fueron de 0,61 (parral) y 0,54 (espaldero) en QB; y 0,44 y 0,41 en Aer. Los mapas de IV mostraron similitud con los krigeados de pp. Las clasificaciones delimitaron zonas distintas (pd>0,05). QB determinó en parral: MAV 2,19; AV 1,57 y BV 1,20 kg pl⁻¹, y en espaldero: AV 1,08 y BV 0,84 kg pl⁻¹. Aer determinó en parral: MAV 2,10 y BV 1,34 kg pl⁻¹; y en espaldero: MAV 1,32; AV 0,96 y BV 0,59 kg pl⁻¹. La clasificación supervisada permitiría implementar manejos sitio específicos para diferenciar calidad de uva.

Palabras claves: índice de vegetación, *Vitis vinifera*, viticultura de precisión

ABSTRACT

To estimate vineyard biomass, satellite (QB) and aerial images (Aer) were compared. Images from pergola and vertical shoot position (vsp) trellis systems were acquired. Resolution was 2.44 m² pixel⁻¹ for QB and 1 m² pixel⁻¹ for Aer. Vegetation indexes maps (IV; NDVI and SR) were obtained and compared with grapevines pruning weights. A supervised classification based on known pp differentiated four vigor zones (pd>0,05): very high (MAV), high (HV), low (BV), and very low vigor (MBV). Correlations between pp and NDVI in QB were 0.61 for pergola and 0.55 for vsp, while in Aer were 0.38 and 0.42 respectively. Correlations between pp and SR in QB were 0.61 for pergola and 0.54 for vsp, while in Aer were 0.44 and 0.41 respectively. Maps of IV were similar to those obtained by pp krigging. Zones separated with QB in pergola were: MAV 2.19, AV 1.57, and BV 1.20 kg pl⁻¹, while in vsp were AV 1.08 and BV 0.84 kg pl⁻¹. Zones separated with Aer in pergola were MAV 2.10 and BV 1.34 kg pl⁻¹, while in vsp were MAV 1.32, AV 0.96, and BV 0.59 kg pl⁻¹. Supervised classification could allow site specific vineyard practices to differentiate grape quality.

Keywords: vegetation index, *Vitis vinifera*, precision viticulture

Abreviaturas: NDVI: índice de vegetación diferencial normalizado; SR: índice de relación simple; QB: imagen satélite QuickBird; Aer: imagen aérea; IV: índice de vegetación; pp: peso de poda; MAV: muy alto vigor; HV: alto vigor; BV: bajo vigor; MBV: muy bajo vigor.

Introducción

En los últimos años se han comenzado a utilizar imágenes multiespectrales para estimar la biomasa de viñedos y determinar su variabilidad espacial. Estas estimaciones se realizan mediante índices de vegetación (IV) calculados a partir de las relaciones entre reflectancias en sectores del espectro electromagnético: infrarrojo cercano (NIR) y rojo (R). Entre los más utilizados se encuentran el NDVI (Rouse *et al.*, 1974) y el SR (Jordan *et al.*, 1969), que utilizan las siguientes relaciones:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{R})}{(\text{NIR} + \text{R})} \quad (1)$$

$$\text{SR} = \frac{\text{NIR}}{\text{R}} \quad (2)$$

Estos IV se correlacionan significativamente con la biomasa en vid. Así por ejemplo, el NDVI, obtenido a partir de imágenes satelitales IKONOS, se correlacionó con el índice de área foliar (LAI; $R^2 = 0,74$) y el área foliar por planta, en vides ($R^2 = 0,78$; Johnson *et al.*, 2001). El SR tiene la ventaja sobre el NDVI de que se satura a valores más altos de LAI (Shihao *et al.*, 2003). La utilidad del uso de imágenes e IV para estimar biomasa estriba en que la calidad de uvas y vinos depende en gran medida de la superficie foliar, el vigor de las plantas y el rendimiento de fruta (Kliwer y Dokoozlian, 2005; Haselgrove *et al.*, 2000; Petrie *et al.*, 2000) y estos factores, a su vez, están correlacionados con la producción de biomasa.

Debido a que las parcelas de plantación de los viñedos se componen de pequeñas superficies (del orden de 1 a 20 ha) es necesario utilizar imágenes de alta resolución espacial de 0,25 a 4 m (e.g., Ikonos y QuickBird). La elección del tipo de imagen se basa en la resolución espacial, en la posibilidad de elegir las fechas más apropiadas para la adquisición y en el costo. No obstante esto, se postula que el criterio de calidad de los sensores desde el punto de vista radiométrico debería ser preeminente, debido a que los IV se construyen mediante el cálculo de valores de reflectancia lumínica. Así, la calidad de un sensor debería definirse por lo menos en dos términos: i) su resolución espacial (i.e., tamaño de píxel) y ii) su sensibilidad radiométrica.

El objetivo del trabajo fue comparar dos sensores multiespectrales con distinta resolución espacial y sensibilidad radiométrica, uno satelital (QuickBird) y otro aéreo (DMSC MKII) como

estimadores de biomasa en viñedos mediante NDVI y SR. Debido a la dificultad adicional de que los frutales no presentan superficies lambertianas perfectas, y por lo tanto los resultados pueden estar influidos por la arquitectura de las plantas y por la relación entre canopia y suelo no cultivado, el trabajo se repitió en dos sistemas de conducción: parral (canopia horizontal) y espaldero (canopia vertical).

Materiales y métodos

Área de estudio

Se realizó en 2006 en la estación experimental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, en Chacras de Coria, Mendoza, Argentina (Lat. 68,52° O, Long. 32,59° S, Altitud 921 msnm). La zona se caracteriza por su clima templado árido y soleado (temperatura media anual 15° C; precipitaciones 246 mm/año; heliofanía relativa diaria 63%). Se utilizaron dos viñedos contiguos de la cv. Cabernet Sauvignon de aproximadamente 1 ha, uno conducido en parral con una marco de plantación de 2,5 m x 2,5 m, y otro conducido en espaldero con 2,5 m entre hileras y 1,5 m entre plantas. En ambos viñedos el suelo era similar, de formación aluvional, franco limoso sobre grava, con una profundidad variable entre 0,60 y 1,50 m. Se regaron por surcos con una lámina aproximada de 750 mm anuales.

Adquisición de imágenes y medidas de campo

Se obtuvieron imágenes aéreas (Aer) multiespectrales mediante el sensor DMSC MK II (SpecTerra Service Pty. Ltd. Australia), del Instituto de Clima y Agua del INTA, instalado sobre una avioneta, el 20 de febrero de 2006, a mediados del ciclo de madurez de la uva. El sensor constaba de un arreglo de 4 cámaras electrónicas con lentes de 24 mm y adquiría imágenes con resolución radiométrica de 12 bits, en las bandas: 1-azul (B; 450±25 nm), 2-verde (G; 550±25 nm), 3-rojo (R; 650±25 nm) y 4-infrarrojo cercano (NIR; 750±25 nm). El avión voló a 2.000 m de altitud y el fotograma abarcó una superficie de 105 ha, con una resolución espacial de 1 m² píxel⁻¹.

Por otro lado, se adquirió una imagen satelital (QB) multiespectral mediante el satélite QuickBird (Digital Globe®), el 11 de marzo del 2006, a fines del ciclo de maduración de la uva. Este sensor brindaba una resolución radiométrica de 11 bits y abarcaba las bandas: 1-B (485±35 nm), 2-G (560±40 nm), 3-R (660±30 nm) y 4 NIR pp

(830±70 nm). La imagen abarcó una superficie de 43 km² y tuvo una resolución espacial de 2,44 m² píxel⁻¹. Además, poseía correcciones radiométricas dadas por el proveedor y estaba referenciada en el sistema de proyección UTM WGS 84.

El indicador de biomasa medido en el campo fue peso de poda invernal (pp). Este se obtuvo mediante un muestreo en grilla con una dimensión de 5 m x 5 m, planta por medio, hilera por medio, en el parral; y de dimensión 7,5 m x 7,5 m, claro por medio, hilera por medio en el espaldero. El tamaño de muestra fue de n = 339 en el parral (21% de las plantas) y de n = 218 en la viña (8% de las plantas).

Procesamiento de la información

Las imágenes fueron procesadas mediante el programa informático Erdas versión 8.7 (Leica Geosystem GIS & Mapping LLC.). QB se utilizó como mapa base para la referenciación de Aer en coordenadas UTM WGS 84. La corrección geométrica de Aer se realizó mediante un modelo de traslación lineal tomando 4 puntos de control sobre la imagen QB. Previamente en Aer se realizó la corrección de bandas, ya que existía un error de paralelaje entre las cuatro lentes de la cámara. También fue corregida radiométricamente debido a que los filtros utilizados en la cámara poseían un considerable desgaste temporal, sobre todo en las bandas de mayor interés (*i.e.*, R y NIR). Para esto, se tomaron los valores radiométricos de pares de puntos Aer/QB que se estimaron de baja variación temporal. Luego de relacionarlos, se realizó un ajuste rectilíneo tomando como referencia QB para corregir Aer. Las ecuaciones de ajuste utilizadas fueron las siguientes:

$$Aer_R = 0,4476QB_R - 139,31 \quad R^2=90\% \quad (3)$$

$$Aer_{NIR} = 1,258QB_{NIR} - 85,638 \quad R^2=80\% \quad (4)$$

Las imágenes se utilizaron para calcular NDVI y SR, los que se representaron en mapas de falso color. Se realizó una clasificación supervisada con el método del paralelepípedo, con distancia de Mahalanobis como criterio de decisión, a partir de 4 zonas en parral y 4 en espaldero, de pp conocido y contrastante: en parral, MAV con pp = 2,0 kg pl⁻¹, AV con pp = 1,6 kg pl⁻¹, BV con pp = 1,2 kg pl⁻¹ y MBV con pp = 1,0 kg pl⁻¹; en espaldero, MAV con pp = 1,2 kg pl⁻¹, AV con

= 1,0 kg pl⁻¹, BV con pp = 0,8 kg pl⁻¹ y MBV con pp = 0,6 kg pl⁻¹.

Los datos de pp medidos a campo fueron georreferenciados mediante levantamiento taquimétrico con teodolito (TopCon CTS-1), posteriormente vinculados a la red POSGAR 94, e interpolados mediante krigeado para obtener mapas con una distribución espacial continua. El procesamiento se realizó mediante software ArcGis versión 9.2 (ESRI®). Para el krigeado se aplicó un modelo de ajuste esférico, considerando un eje de anisotropía en el sentido noreste – sudoeste (dirección 322,7 azimutal al norte). Con un error de ajuste medio cuadrático estandarizado (rmss) de 1,10 para el parral. Para el espaldero se aplicó un modelo de ajuste esférico, considerando un eje de anisotropía oeste – este (dirección 79,8 azimutal al norte) con un error de ajuste rmss = 0,96. Los datos numéricos fueron sometidos a análisis de correlación, análisis de la varianza y pruebas múltiples de medias con el software estadístico Statgraphics Plus para Windows 5.0 (Statistical Graphics Corp.©).

Resultados

Las imágenes en falso color (bandas 4, 2 y 1; R, G, B) de QB y Aer, mostraron semejanzas en los patrones de distribución de vigor en cada sistema de conducción (figuras 1 y 2). Las zonas de mayor vigor (rojo más intenso) correspondieron a sectores donde se había acumulado el agua de riego hacia el norte y este de las parcelas, por fallas en la nivelación del terreno. Las imágenes Aer debido a su mayor resolución espacial mostraron más detalle, pudiendo definirse distintas situaciones de canopia, desde vegetación muy rala hasta cobertura total.

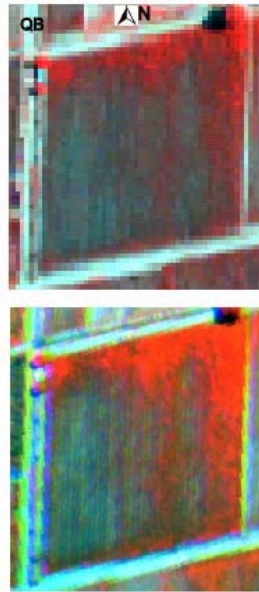


Fig. 1. Imágenes multiespectrales QB y Aer. Las imágenes muestran la superposición de las bandas IR-G-B. Los sectores más rojos son zonas con mayor vigor.

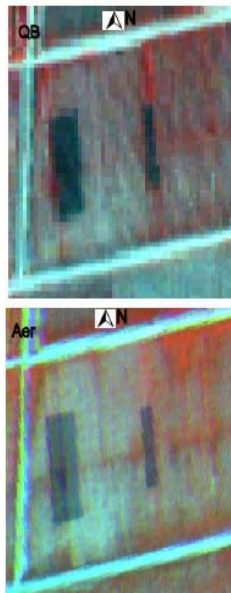


Fig. 2. Imágenes multiespectrales satelital Quick Bird (QB) y aérea (Aer) del viñedo conducido en espaldero. Las imágenes muestran la superpo-

sición de las bandas IR-G-B. Los sectores más rojos son zonas con mayor vigor. Las dos manchas oscuras rectangulares corresponden a dos ensayos cubiertos por malla antigranizo.

Los mapas de NDVI de QB y Aer también mostraron semejanza en cada sistema de conducción, mostrando más biomasa en el sector noreste y menos en el sector suroeste (figuras 3 y 4).

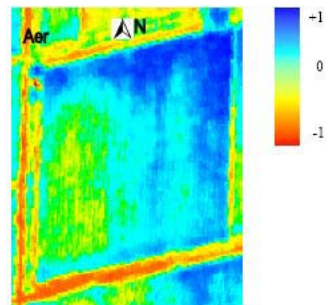
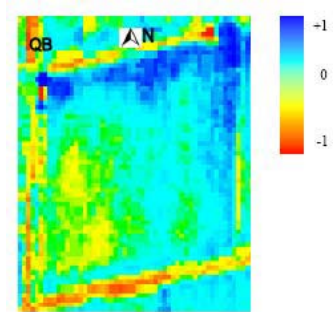
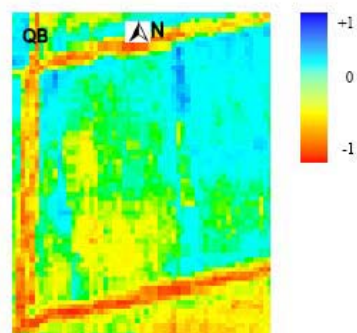


Fig. 3. Mapas de NDVI obtenidos a partir de QB y Aer del viñedo conducido en parral.



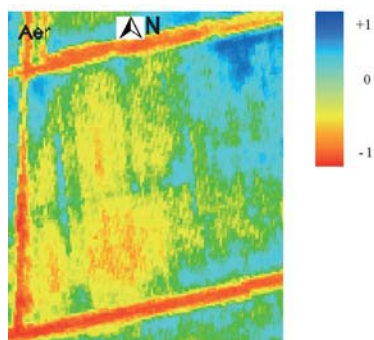


Fig. 4. Mapas de NDVI obtenidos a partir de QB y Aer del viñedo conducido en espaldero.

Tomando en cuenta los valores numéricos del NDVI, las correlaciones entre los sensores QB y Aer fueron de 0,75 en parral (tabla 1) y de 0,71 en espaldero (tabla 2). Los mapas de SR mostraron semejanzas visuales con los de NDVI en ambos sensores (figuras 5 y 6). En parral la correlación numérica entre los SR de los sensores QB y Aer fue de 0,78 en parral (tabla 1) y de 0,69 en espaldero (tabla 2).

Tabla 1. Correlaciones r de Pearson entre pp e IV obtenidos a partir de QB y Aer del viñedo conducido en parral. Todos los valores poseen una significancia de $p < 0,05$

	QB		Aer	
	NDVI	SR	NDVI	SR
pp (kg pl^{-1})	0,611	0,616	0,380	0,436
NDVI QB		0,979	0,753	0,773
SR QB			0,709	0,748
NDVI Aer				0,973

Tabla 2. Correlaciones r de Pearson entre pp e IV obtenidos a partir de QB y Aer del viñedo conducido en espaldero. Todos los valores poseen una significancia de $p < 0,05$

	QB		Aer	
	NDVI	SR	NDVI	SR
pp (kg pl^{-1})	0,553	0,541	0,417	0,411
NDVI QB		0,991	0,712	0,683
SR QB			0,712	0,694
NDVI Aer				0,973

Los IV de QB y Aer resultaron estimadores pobres de la biomasa del parral y el espaldero, ya que las correlaciones con pp fueron bajas. No obstante los bajos valores, éstos siempre fueron significativos ($p < 0,05$). QB logró una mayor asociación tanto en NDVI como en SR, lo que lo sitúa como un sensor más confiable.

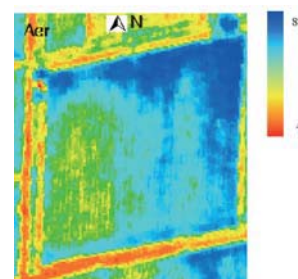
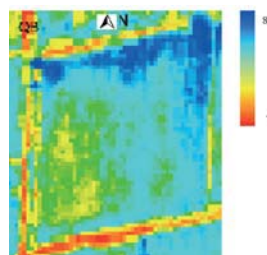
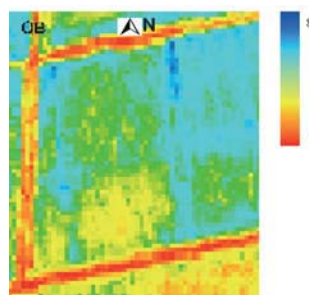


Fig. 5. Mapas de SR obtenidos a partir de imágenes QB y Aer del viñedo conducido en parral.



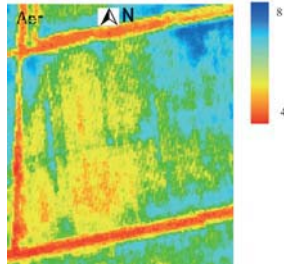


Fig. 6. Mapas de SR obtenidos a partir de imágenes QB y Aer del espaldero.

Las correlaciones entre pp y NDVI, para QB, fueron de 0,61 en parral (tabla 1) y de 0,55 en espaldero (tabla 2), y para Aer fueron de 0,38 y 0,42 respectivamente (tablas 1 y 2). Las correlaciones entre pp y SR, para QB fueron de 0,62 en parral (tabla 1) y 0,54 en espaldero (tabla 2); y para Aer de 0,44 y 0,41 respectivamente (tablas 1 y 2). A pesar de los bajos valores de correlación entre los IV y los pp, los mapas de pp obtenidos por krigeado (figura 7) mostraron concordancia en los patrones de distribución del vigor con los mapas de IV.

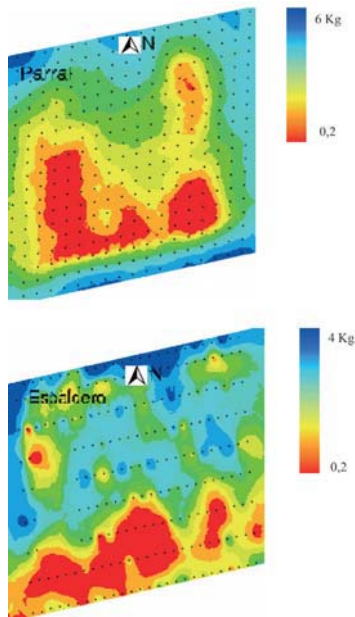


Fig. 7. Mapas de pp elaborado por krigeado del espaldero y el parral. Los puntos indican las plantas muestreadas

Como una alternativa a los mapas de IV, se generaron mapas de clasificación supervisada a partir de QB y Aer, definiendo 4 clases de interés (figuras 8 y 9).

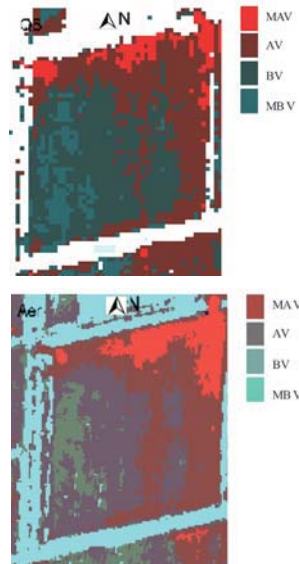


Fig. 8. Mapas de clasificación supervisada obtenidos a partir de QB y Aer del parral.

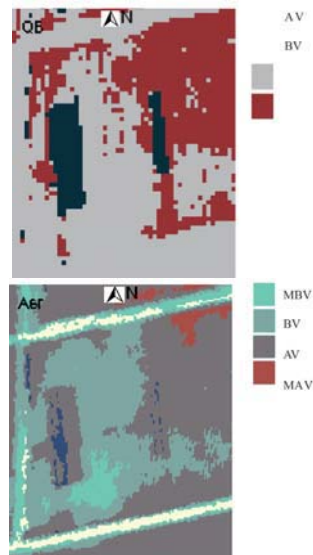


Fig. 9. Mapas de clasificación supervisada obtenidos a partir de imágenes satelital Quick Bird (QB) y aérea (Aer) del viñedo conducido en espaldero.

Las clasificaciones delimitaron zonas con distinta biomasa ($p < 0,05$). QB identificó en parral las zonas: MAV con 2,19; AV con 1,57 y BV con 1,20 kg pl⁻¹ (tabla 3); y en espaldero: AV con 1,08 y BV con 0,84 kg pl⁻¹ (tabla 4) de pp promedio. Aer identificó en parral: MAV con 2,10 y BV con 1,34 kg pl⁻¹ (tabla 5); y en espaldero: MAV con 1,32; AV con 0,96 y BV con 0,59 kg pl⁻¹ (tabla 6) de pp promedio.

Tabla 3. Peso medio de poda de zonas con distinto vigor obtenidas por clasificación supervisada en imagen satelital (QB) del viñedo conducido en parral. Letras distintas indican diferencias para $p < 0,05$ en la prueba Tukey

Clase	Media pp	Error std.	
MAV	2,191	0,150	a
AV	1,573	0,057	b
BV	1,233	0,049	c
MBV = BV	1,110	0,062	c

Tabla 4. Peso medio de poda de zonas con distinto vigor obtenidas por clasificación supervisada de QB de espaldero.

Clase	Media pp	Error std.	
AV	1,086	0,030	a
BV	0,846	0,032	b

Tabla 5. Peso medio de poda de zonas con distinto vigor obtenidas por clasificación supervisada de Aer del parral.

Clase	Media pp	Error std.	
MAV	2,104	0,114	a
AV = BV	1,462	0,061	b
BV	1,290	0,051	b
MBV = BV)	1,209	0,105	b

Discusión

Las bajas correlaciones entre los IV y pp tienen implicancias prácticas importantes, ya que pueden limitar el posible uso de esta tecnología en viñedos. Es necesario identificar las fuentes de error en las estimaciones y analizar qué componentes del error pueden minimizarse. La primera fuente de error que debe considerarse es la originada en la relación entre superficie foliar y pp, ya que se intenta estimar la biomasa mediante los IV y validarla con los pp invernal. Se sabe que en vid existe una asociación lineal entre LAI y pp, pero el nivel de error del ajuste

entre estas dos variables fluctúa entre el 20 y el 30% (Kliwer y Dokoozlian, 2005; Johnson, 2001). Por otro lado, en vid se han encontrado ajustes lineales entre NDVI y LAI con un error de orden del 8 al 28% (Johnson, 2001; Dobrowski *et al.*, 2002) y entre NDVI y SR del orden del 13 al 29% (Dobrowski *et al.*, 2002). La aditividad de estos errores podría explicar plausiblemente el bajo nivel de correlación encontrado entre los IV de teledetección y pp. Una recomendación práctica sería que con teledetección no convendría avanzar más allá de la estimación de LAI. Es importante entonces analizar cuánto del error del componente atribuible al LAI se debe al azar y cuanto es inherente al propio sistema. El NDVI se satura y pierde poder como estimador a LAI > 2,5 (Shihao *et al.*, 2003), mientras que el SR tiene un punto de saturación más alto (LAI > 6; Shihao *et al.*, 2003). Las discontinuidades de canopia, sobre todo en el espaldero, provocan la ocurrencia de una alta proporción de píxeles híbridos canopia/suelo que introduce otra fuente de error adicional (Hall *et al.*, 2002). Desde esta perspectiva, la técnica de clasificación supervisada que se ha utilizado en el trabajo parece ser más potente que los IV para establecer zonas con distinta producción de biomasa. Esto se debe a que por un lado utiliza la información contenida en las 4 bandas de las imágenes (*i.e.*, R, G, B, NIR) y no sólo en las bandas R y NIR. Por otro lado, permite establecer diferencias entre zonas mediante las medidas de campo a través de pruebas de hipótesis estadísticas. Sorteado estos pasos puede existir una confianza probabilística al afirmar que dos zonas tienen o no diferencias en cuanto a la producción de biomasa. Esto se adecua al tipo de requerimiento de los sistemas de gestión sitio-específicos que propone la viticultura de precisión (Best *et al.*, 2006).

Con respecto a los sensores, la mayor fiabilidad de QB en cuanto a la determinación de IV, no alcanzó para disminuir sus errores de estimación de pp hasta límites aceptables. Es probable que esta mayor fiabilidad esté asociada a una mayor estabilidad mecánica inherente a la tecnología satelital comparada con la aérea. No obstante ambos mostraron una correlación lineal bastante alta entre sí y se podrían utilizar aprovechando sus ventajas logísticas; QB pasa cada 16 días, mientras Aer puede volar teóricamente todos los días. Si bien Aer no resultó confiable en lo referente a las relaciones IV/pp, sí resultó igual de adecuado que QB para clasificar los viñedos en zonas homogéneas de pp.

Esto concuerda con comparaciones que se hicieron entre QB y Aer en cuanto a sus capacidades para clasificar cultivos de sorgo en zonas de productividad homogéneas (Yang *et al.*, 2006) y sitúa a ambas tecnologías en un grado similar de confiabilidad para estimar distribución espacial de la biomasa.

Conclusiones

Las imágenes multispectrales aéreas y satelitales de alta resolución son apropiadas para discriminar zonas de viñedos con distinta producción de biomasa, siendo las satelitales mejores por su mayor calidad radiométrica. Por último se debe tener en cuenta que adquirir imágenes aéreas genera un menor costo económico que adquirir imágenes satelitales.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Instituto Nacional Agropecuario de Argentina (INTA). Se agradece al Dr. César Rebella y al Lic. Tomás Hartmann del Instituto de Clima y Agua del INTA Castelar por facilitar el sensor aéreo. Se agradece al Dr. Saturnino Leguizamón por su asesoramiento en el área de procesamiento de imágenes.

Referencias

- Best, S., Leon, L., Claret, M., 2006. Vitivinicultura y fruticultura. Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Bongiovani, R.; Mantovani, E.; Best, S. y Roel, A.. Procisur, IICA.55-64.
- Dobrowski, S., Ustin, S., Wolpert, A. 2002. Remote estimation of vine canopy density in vertically shoot-positioned vineyards: determining optimal vegetation indices. Australian Journal of Grape and Wine Research, 8: 117-125.
- Hall, A., Lamb, D., Holzapfel, B., Louis, J. 2002. Optical remote sensing applications in viticulture a review: Australian Journal of Grape and Wine Research 8: 36-47.
- Haselgrove, L., Botting, D., Van Heeswijck, R., Høj, P.B., Dry, P. R., Ford, C., Lland, P. G. 2000. Canopy microclimate and berry composition: The effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries: Australian Journal of Grape and Wine Research 6: 141-149.
- Johnson, L., Roczen, D., Youkhana, S. 2001. Vineyard canopy density mapping with IKONOS satellite imagery: Proceedings 3rd International Conference on Geospatial Infor

mation in Agriculture and Forestry, Denver, Colorado (ERIM International Inc.: Ann Arbor, MI, USA).

Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor, Ecology, vol. 50 663-666.

Kliewer, W. M., Dokoozlian, N. K., 2005. Leaf area/crop weight ratios of grapevines: Influence on fruit composition and wine quality. Am. J. Enol. Vitic. 56: 170-181.

Petrie, R. P., Trought, M.C.T., Howell, G. S. 2000. Fruit composition and ripening of Pinot Noir (*Vitis vinifera*, L.) in relation to leaf area. Australian Journal of Grape and Wine Research 6: 40-45.

Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. 1974. «Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS». Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp., Goddard Space Flight Center, NASA SP-351, Science and Technical Information Office, NASA, Washington, D. C.

Shihao, T., Qijiang, Z., Yanmin, S., Donghui, X. Gongle, Z. 2003. A New Vegetation Index and Its Principle and Application: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International.

Yang, C.: Everitt, J., Bradford, J. 2006. Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield patterns. Precision Agric. 7: 33-44.